



Productie en karakterisering van Bokashi

Resultaten van praktijkpilots op zeven bedrijven

W.H. Riechelman

R. Postma

Referaat

Riechelman WH, Postma, R, 2021, Productie en karakterisering van Bokashi; Resultaten van praktijkpilots op zeven bedrijven, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1812.N.21, 26 pp.

Rapport in het kort

Op zeven bedrijven die groene reststromen verwerken zijn praktijkpilots uitgevoerd gericht op het maken en karakteriseren van bokashi uit groene reststromen, zoals maaisel, bladafval en gewasresten uit de glastuinbouw. Het maken van bokashi is niet eenvoudig door hoge eisen aan de kwaliteit van de organische reststromen, het creëren van zuurstofloze omstandigheden en het mengen van organische reststromen en hulpstoffen. De samenstelling van Bokashi verschilde niet duidelijk van regulier ingekuild materiaal, maar is vooral door het gebruik van hulpstoffen wel 10-15 €/ton duurder. Het is als bodemverbeteraar minder geschikt dan groen- of GFT-compost, vanwege de lagere stabiliteit van de organische stof, een lager EOS-gehalte, een slechtere verwerkbaarheid en de aanwezigheid van verontreinigingen, zoals zwerfafval.

© 2021 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.

Verspreiding

De heer A. Brinkmann, BVOR

digitaal

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	4
2 Aanpak	5
2.1 Deelnemende bedrijven en uitgangsmaterialen	5
2.2 Omvang en opzetten van de kuil	5
2.3 Monitoring van kuilen	6
2.4 Opening kuilen en analyse van eindproduct	6
2.5 Bijhouden logboek	6
3 Ervaringen bij het maken van bokashi	8
3.1 Kuil aanleg	8
3.2 Visuele beoordeling	9
3.3 Hoe de uitvoering is ervaren	10
3.4 Kosten voor arbeid, gebruik machines en hulpstoffen	11
4 Meetresultaten	13
4.1 Chemische en biologische eigenschappen eindproduct	13
4.2 Temperatuurverloop tijdens inkuilproces	16
5 Discussie	17
5.1 Verloop fermentatie in bokashi- en referentiekuil	17
5.2 Eigenschappen Bokashi als bodemverbeteraar	17
5.3 Verschillen in bokashi-samenstelling tussen bedrijven	19
6 Conclusies en aanbevelingen	21
6.1 Conclusies	21
6.2 Aanbevelingen	21
Literatuur	23
Bijlagen	24
Bijlage 1. Overzicht van de inzet van machines en personeel per bedrijf.	24
Bijlage 2. Grafische weergave veranderingen in samenstelling door inkuilen	25

Samenvatting en conclusies

In opdracht van de BVOR heeft NMI een onderzoek bestaande uit zeven praktijkpilots begeleid. Het doel hiervan was om leden van de BVOR praktische ervaring op te laten doen met het maken van bokashi uit verschillende groene reststromen. Daarnaast is het product bokashi gekarakteriseerd en vergeleken met normaal ingekuuld maaisel (zonder toevoegmiddelen), groencompost en andere organische bodemverbeteraars. Met deze pilots wil de BVOR bijdragen aan het verzamelen van kennis over het (maken van het) product bokashi, ten behoeve van haar leden, beleidsmakers, agrariërs en andere stakeholders.

Op zeven bedrijven zijn groene reststromen conform receptuur en aanwijzingen van Agriton ingekuuld in twee kuilen, één met bokashi-hulpstoffen en één zonder. Daarbij zijn drie pilots aangelegd met maaisel (bedrijf 5, 6 en 7), twee met bladafval (bedrijf 1 en 4), één met een mengsel van blad en maaisel (bedrijf 2) en één met een mengsel van tomatenloof, tomatenblad en tunnelmengsel (bedrijf 3). Bij de start en na afloop van het inkuilproces zijn monsters genomen van de kuilen die zijn geanalyseerd op chemische en biologische samenstelling. Tijdens het inkuilproces zijn temperatuurmetingen gedaan.

Het aanleggen van de bokashi-kuilen is vrij bewerkelijk, aangezien het uitgangsmateriaal en de hulpstoffen laagsgewijs worden aangebracht. Op één bedrijf is de bokashi-kuil op advies van Agriton aangelegd met een bagging machine, waarbij het uitgangsmateriaal en de hulpstoffen zijn gemengd. De kosten voor de hulpstoffen bedroegen gemiddeld 10-15 €/ton bokashi. Hier komen de kosten voor inzet van personeel en machines en voor analyses nog bij.

Chemische en biologische analyses van de kuilen toonden geen duidelijke verschillen aan tussen bokashi en reguliere kuilen zonder hulpstoffen. Tussen bedrijven verschilde de samenstelling van de kuilen na het inkuilproces soms sterk, waarbij organische stofgehalten relatief hoog waren op bedrijf 5 en 6, terwijl N- en P-gehalten relatief hoog waren op bedrijf 3, 5 en 6 en waarbij K-gehalten relatief hoog waren op bedrijf 3. Hoge waarden van de respiratiemeting werden met name vastgesteld op bedrijf 6 en in mindere mate op bedrijf 3. Het inkuilproces heeft er toe geleid dat het drogestofgehalte, het organische stofgehalte en het gehalte aan N, P en K op de meeste bedrijven gedurende het inkuilproces afnam. De pH nam over het algemeen iets toe, wat bijzonder is. Normaalgesproken leidt het inkuilproces tot een verlaging van de pH. Het aantal kiemkrachtige onkruiden is sterk afgenomen en was in de eindproducten vrijwel steeds afwezig of laag. De respiratie was in de meeste gevallen in het eindproduct wat lager dan in het uitgangsmateriaal, wat aangeeft dat het enigszins is gestabiliseerd.

Bij de meeste bedrijven is weinig temperatuurverschil tussen de bokashi en de reguliere kuil vastgesteld. Verder valt op dat de temperatuur voor beide kuilen op bedrijf 3 en 7 op een relatief hoog niveau lag (tussen 40 en 50 °C) en niet afnam gedurende de periode, terwijl de temperaturen op bedrijf 4 en 5 op een lager niveau lagen (tussen 20 en 30 °C) en de temperatuur op bedrijf 6 een flinke daling liet zien van zo'n 40 °C aan het begin tot 10 °C aan het eind.

Conclusies:

1. Het maken van bokashi, waarbij groene reststromen met hulpstoffen worden ingekuuld / gefermenteerd, is niet eenvoudig. Bokashi maken is moeilijk omdat i) het op de juiste wijze aanleggen van een bokashi-kuil, waarbij groene reststromen en hulpstoffen in de juiste verhouding

en op de juiste wijze worden gemengd, bewerkelijk is en nauw luistert en ii) er voor een succesvol inkuilproces hoge eisen worden gesteld aan de kwaliteit van de groene reststromen (voldoende suikers, goed vochtgehalte) en het creëren van zuurstofloze omstandigheden.

2. Het toevoegen van hulpstoffen bij het inkuilen maakt de productie van bokashi duur (de kosten voor de hulpstoffen bedroegen in de pilots gemiddeld 10-15 €/ton), terwijl het niet of nauwelijks lijkt te leiden tot een beter verloop van het fermentatieproces en/of een betere kwaliteit van het eindproduct dan regulier inkuilen. De totale kosten zijn opgebouwd uit zo'n 15-20 €/ton voor de inzet van arbeid en machines, waar voor bokashi dan nog de 10-15 €/ton voor hulpstoffen bij komt.
3. Uit een vergelijking van bokashi met reguliere bodemverbeteraars kan worden geconcludeerd dat:
 - De NPK-gehalten van bokashi niet veel verschillen van die van groencompost.
 - Het organische stofgehalte vergelijkbaar of lager was dan van diverse compostsoorten en de stabiliteit van organische stof en het EOS-gehalte van bokashi lager was dan van composten.
 - De verhouding EOS/P₂O₅ van bokashi vergelijkbaar is met gft-compost, lager dan van groencompost, maar hoger dan die van champost en berm- en slootmaaisel.
 - Bij de meeste bokashi-kuilen evenals bij compost na openen geen onkruidzaden ontkiemden. Het is onduidelijk of Japanse duizendknoop ook onschadelijk wordt gemaakt.
 - De verwerkbaarheid van bokashi van vooral maaisel slecht is, waardoor het moeilijk kan worden gezeefd en zwerfafval niet/nauwelijks kan worden verwijderd. De slechte verwerkbaarheid bemoeilijkt ook een uniforme toediening op het land.

Aanbevelingen:

1. Aangezien er nog veel onduidelijkheden zijn over het onderscheidend vermogen van bokashi ten opzichte van onbewerkt of normaal ingekuild organisch materiaal, is aanvullend onderzoek nodig. Ook zou daarbij duidelijker moeten worden wat het belang van hulpstoffen is.
2. Voorgesteld wordt betere voorschriften voor het maken van bokashi op te stellen, waardoor de kans op een succesvol verloop van het inkuilproces wordt vergroot.
3. Als het in de toekomst toegestaan wordt om bokashi te gebruiken als bodemverbeteraar is het gewenst dat boeren dit meenemen in de mestboekhouding van hun bedrijf, aangezien het aanzienlijke gehalten aan N en P bevat.
4. Daarnaast zijn de volgende verbeteringen van het eindproduct gewenst:
 - Zwerfvuil en andere verontreinigingen moeten uit het product worden verwijderd. Ook verspreiding van onkruiden (zoals bijvoorbeeld Japanse duizendknoop) moet worden voorkomen.
 - Een betere verwerkbaarheid van bokashi van maaisel is nodig voor het zeven (en daardoor schonen) als voor de mogelijkheden voor een uniforme toediening van het product op het land.
 - Een gecontroleerde productie van bokashi, waarbij het productieproces en een hoge kwaliteit van het eindproduct wordt geborgd, is van belang voor eindgebruikers.
5. Onderzoek naar effect van het gebruik van bokashi in vergelijking met andere bodemverbeteraars op de bodemkwaliteit, inclusief risico's voor het verhogen van de onkruiddruk en/of de verspreiding van plantenziekten, is gewenst.

1 Inleiding

Er is de laatste jaren vrij veel aandacht voor het maken en toepassen van bokashi. Maar wat is bokashi precies? Op de website van Agriton, promotor van bokashi en leverancier van hulpstoffen voor het maken van bokashi, staat beschreven dat *'bokashi het Japanse woord is voor 'goed gefermenteerd organisch materiaal', dat met behoud van alle energie, terug wordt gegeven aan de bodem. Het is een kringloopconcept met als doel de microbiële diversiteit in de bodem te verhogen en planten te voorzien van bio-actieve voedingsstoffen, zoals natuurlijke antibiotica, groeihormonen, vitamines en aminozuren. Door toevoeging van effectieve micro-organismen (EM) en het anaeroob (zonder zuurstof) verwerken van je resten, maak je van je eigen organische resten een waardevolle bodemverbeteraar. Om een optimaal resultaat te behalen worden meestal zeeschelpenkalk en kleimineralen toegevoegd.'* Als voordelen van het maken en toepassen van bokashi worden onder andere genoemd dat *'het een positief effect heeft op de organische stofbalans en het bodemleven, dat de CO₂- en NH₃-uitstoot nihil is, dat er sprake is van een behoud van mineralen binnen de bedrijfskringloop en dat er een besparing van afvoerkosten van organisch materiaal kan worden gerealiseerd'* (www.agriton.nl).

De BVOR heeft samen met enkele van haar lidbedrijven een samenhangend programma uitgevoerd van zeven pilots waarin op vergelijkbare wijze Bokashi-kuilen zijn gemaakt, waarbij het productieproces via metingen is gemonitord en waarbij de eindproducten zijn gekarakteriseerd. De Bokashi-kuilen waren gelegen bij de lidbedrijven en de BVOR verzorgde de coördinatie. Agriton, leverancier van bokashi-hulpstoffen, heeft geadviseerd over opzet en samenstelling van de kuilen. Het doel hiervan was tweeledig, namelijk:

1. Leden van de BVOR doen praktische ervaring op met het maken van Bokashi uit verschillende groene reststromen, waarbij het bij bokashi gaat om het op precieze wijze inkuilen, waarbij uitgangsmaterialen en de hulpstoffen/toevoegmiddelen zeeschelpenkalk, kleimineralen en Microferm (mengsel van effectieve micro-organismen) zijn toegediend.
2. Het product bokashi karakteriseren en vergelijken met normaal ingekuuld maaisel (zonder toevoegmiddelen) en tevens met groencompost en andere organische bodemverbeteraars.

In een latere fase wil de BVOR mogelijk ervaring opdoen met de toepassing en (het meten van) de effecten van bokashi op de bodemkwaliteit (na toediening aan de bodem).

Met deze pilots wil de BVOR bijdragen aan het verzamelen van kennis over het (maken van het) product bokashi, ten behoeve van haar leden, beleidsmakers, agrariërs en andere stakeholders. Op dit moment is er veel aandacht voor bokashi bij deze partijen, maar ontbreekt het aan informatie over de productie, de kosten, de benodigde arbeidsinzet, de kwaliteit van het eindproduct en data waarmee claims over de werking van het product als bodemverbeteraar in de landbouw kunnen worden onderbouwd.

De BVOR heeft aan NMI gevraagd om de pilot te begeleiden door i) het opzetten van een meetprogramma en ii) de verzamelde data te analyseren en een rapportage daarover te verzorgen.

2 Aanpak

2.1 Deelnemende bedrijven en uitgangsmaterialen

Bij zeven bedrijven was een pilot gelegen. In willekeurige volgorde zijn dat Van Berkel Biomassa & Bodemproducten BV te Uden, Den Ouden Groenrecycling BV te Schijndel, Groenrecycling Rouveen te Rouveen, Van Iersel Biezenmortel BV te Biezenmortel, Renewi Contrans BV te Hoek van Holland, Reterra BV te Goor en Sortiva BV te Alkmaar. Het betrof vergunde locaties, waar kundig personeel en materieel beschikbaar is. Op de bedrijven zijn voorzieningen aanwezig om eventuele hinder en milieurisico's te voorkomen, bijvoorbeeld door vloeistofdichte verhardingen. Voor het uitvoeren van de pilots hebben deelnemende bedrijven een ontheffing aangevraagd bij de verantwoordelijke milieudiensten.

In de pilots zijn uiteenlopende uitgangsmaterialen gebruikt voor het maken van bokashi, namelijk gras/maaisels, bladafval en materiaal uit de glastuinbouw, bestaande uit tomatenblad, tomatenloof en tunnelmengsel (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Overzicht van gebruikte uitgangsmaterialen en de start- en einddatum van de pilots bij de zeven deelnemende bedrijven.

Nr. bedrijf	Gebruikte uitgangsmateriaal	Start- en einddatum pilot
1.	Bladafval	10 dec '20 – 9 maart '21
2.	50 % blad en 50% gras met Japanse duizendknoop	15 jan '21 – 26 maart '21
3.	25% tomatenblad, 25% tomatenloof, 50% tunnelmengsel	8 jan '21 – 24 maart '21
4.	Bladafval	22 jan '21 - 22 maart '21
5.	Bermmaaisel met vnl. gras en deels riet en houtig materiaal	13 nov '20 – 26 feb '21
6.	Bermmaaisel	26 okt '20 – 5 feb '21
7.	Gemengd berm- en slootmaaisel	25 nov '20 – 4 feb '21

Ten behoeve van de pilots is samenwerking gezocht met Agriton, aangezien zij in Nederland de belangrijkste leverancier zijn van hulpstoffen voor Bokashi. Daarbij heeft ieder bedrijf individueel bij adviseurs van Agriton gevraagd naar de hoeveelheden te gebruiken hulpstoffen en de voorbehandeling en opzet van de kuilen (zie verder). Hulpstoffen zijn door de bedrijven ook bij Agriton besteld.

2.2 Omvang en opzetten van de kuil

De bedrijven hebben van het gekozen uitgangsmateriaal twee kuilen opgezet: één kuil conform receptuur van Agriton (dus met bokashi-hulpstoffen), en één kuil zonder bokashi-hulpstoffen ('controle').

De kuilen zijn aangelegd conform instructies van Agriton. Hiertoe vroeg ieder bedrijf individueel bij Agriton om een 'handleiding' voor het opzetten van de kuil. Dit betrof de volgende onderdelen:

- Wat zijn de gewenste omvang en dimensies van de kuil (verhouding tussen lengte, breedte, hoogte);
- Wat is de benodigde voorbehandeling van het materiaal;
- Hoe en in welke verhouding dienen het uitgangsmateriaal en de hulpstoffen te worden aangebracht;
- Zijn er nog bijzondere eisen, bijvoorbeeld aan de ondergrond en de wijze van afdekking.

Er werd ingezet op het aanleggen van een kuil ter grootte van 50 m³ voor de bokashi-kuil en 50 m³ voor de controle, tenzij het advies van Agriton anders was. In het laatste geval is de omvang van de kuilen aangepast.

2.3 Monitoring van kuilen

Direct voorafgaand aan het opzetten van de kuilen is een monster van het uitgangsmateriaal genomen, en door laboratorium geanalyseerd op de volgende parameters: droge stof, organische stof, Oxitop (respiratiemeting), de totaalgehalten aan nutriënten (N, P, K), pH en onkruidzaden (onkruidkiemtoets).

Tijdens het fermentatieproces moeten de kuil ongestoord en luchtdicht afgesloten blijven. Bedrijven voerden de volgende metingen uit:

- Temperatuur, via lans op vaste plek (luchtdicht getapet);
- Inschatting van de hoeveelheid percolaat die vrijkomt;
- Monstername van vrijkomend percolaat, en laten analyseren op CZV/BZV, nutriënten.

Na afloop van het inkuilproces is wederom een monster genomen voor analyse (zie verder).

2.4 Opening kuilen en analyse van eindproduct

Opening van kuilen vond plaats na de door Agriton aangegeven periode (Tabel 2.1). Van beide kuilen werd een monster van het product genomen en door een laboratorium geanalyseerd op de volgende parameters:

- Droge stof
- Organische stof
- Respiratiemeting (via de Oxitop-bepaling)
- Nutriënten (totaalgehalten aan N, P, K)
- pH
- Onkruidzaad kieming.

Ook werd bij het openen de geur van de kuil beoordeeld aan de hand van de vraag '*kwam er wel/geen afwijkende geur vrij bij het openen van de kuilen?*'. Zo kon kwalitatief worden nagegaan of het inkuilproces goed is verlopen en of er boterzuur is ontstaan tijdens het inkuilen.

2.5 Bijhouden logboek

Bedrijven hielden details over het opzetten van de kuilen, de verwerking van het eindproduct en de monitoring bij in een logboek. Dit betrof in principe:

1. Beschrijving van het uitgangsmateriaal (samenstelling, deeltjesgrootte, foto's, bijzonderheden)

2. Beschrijving van het opzetten van de kuilen (omvang, welke lagen zijn gemaakt, hoeveelheid gebruikte hulpstoffen, foto's)
3. Beschrijving van het openen van de kuilen (1^e indruk, geur-ervaring, foto's)
4. Monitoren:
 - a. Temperatuur: datum + temperatuur
 - b. pH: datum + pH
 - c. Percolaat (hoeveelheid)
 - d. Geurverandering
5. Inzet arbeid, machines, etc. (hoeveel uur, wat is het totale kostenplaatje, bijzonderheden uitvoering)
6. Analyses uitzetten en resultaten hiervan documenteren:
 - a. Voor opzetten, zie paragraaf 2.2 Omvang en opzetten van de kuil
 - b. Tijdens inkuilen analyseren van eventueel aanwezig percolaat, zie paragraaf 2.3 Monitoring van kuilen
 - c. Na openen, zie paragraaf 2.4 Opening kuilen en analyse eindproduct
7. Optioneel: registratie deeltjesgrootte verdeling en massaverdeling fracties van het eindproduct.

3 Ervaringen bij het maken van bokashi

3.1 Kuil aanleg

Zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven hebben zeven bedrijven op basis van uiteenlopende groene reststromen ieder twee kuilen gemaakt: één bokashi-kuil, zoveel mogelijk volgens instructies van Agriton en één reguliere 'controle' kuil ter vergelijking. Een overzicht van de gebruikte uitgangsmaterialen, de voorbehandeling van het uitgangsmateriaal (Figuur 3.1), de resulterende deeltjesgrootte van het materiaal en de toegediende hulpstoffen zijn per pilot samengevat in Tabel 3.1.



Figuur 3.1. Verkleinen van maaisel voorafgaand aan inkoulen (links) en ligging van de twee kuilen (één met en één zonder toevoegmiddelen; rechts) op bedrijf 7.

De verhouding tussen de gebruikte hoeveelheid uitgangsmateriaal en de hoeveelheid hulpstof was vergelijkbaar op de zeven bedrijven. Op bedrijf 1 is weliswaar fors meer hulpstof gebruikt, maar hier is ook een grotere kuil aangelegd (400 ton) dan op de andere locaties, zodat de verhouding materiaal:hulpstof toch vergelijkbaar was. Een aantal van de deelnemende bedrijven hebben van Agriton een advies gekregen over de afmetingen van de kuil, deze adviezen waren niet overal hetzelfde. Het advies aan bedrijf 3 was om de kuil 2 meter hoog te maken, waarbij de dimensies van de kuil (lengte x breedte) verder niet uitmaakten. Het advies aan bedrijf 4 hield in dat er na het aanbrengen een laag van maximaal 20 cm weer nieuwe hulpstoffen toegevoegd moesten worden. Bij bedrijf 5 werd op aanraden van Agriton gebruik gemaakt van een zogenaamde bagging machine met feedtuber (Figuur 3.2) waarbij het uitgangsmateriaal wordt gemengd met de hulpstof.

De kuilen zijn bij de bedrijven op verschillende manieren aangelegd. Op bedrijf 1 zijn lagen van 50cm gemaakt die aangedrukt zijn met een shovel. Aanleggen van de kuil vond op dezelfde dag plaats als de voorbereiding. Op bedrijf 2, 3 en 6 zijn op vergelijkbare wijze substraat en hulpstoffen gemengd en gelaagd ingekuuld. Op bedrijf 7 is ook het materiaal gemengd, op een hoop gelegd en aangereden. Hier was door Agriton aangeraden de kuil niet te vast te rijden. Zoals hiervoor al is aangegeven werden op bedrijf 5 het materiaal en de hulpstoffen gemengd en in een slurf aangebracht.



Figuur 3.2. Aanleg van de bokashi-kuil door het handmatig aanbrengen van hulpstoffen op bedrijf 4 (links) en het aanbrengen van groene reststromen met de bagging machine en feedtuber op bedrijf 5 (rechts).

3.2 Visuele beoordeling

Bij het openen van de kuilen leken er over het algemeen weinig waarneembare verschillen te zijn tussen de bokashi-kuil en de controle kuil. De kuilen stonken niet, de geur werd in de meeste gevallen beschreven als bosgrond of ingekuild gras. Enkele bedrijven gaven aan dat er niets gebeurd leek te zijn met het materiaal en dat het dus goed geconserveerd is. De kuilen op bedrijf 3 en 7 roken licht zuur, maar verschilden onderling niet van geur. Er werd weinig opgemerkt over verschillen in uiterlijk tussen de kuilen, deze lijken gering te zijn geweest. Op één locatie werd genoemd dat de bokashi-kuil vochtiger was dan de controle-kuil terwijl dit op een andere locatie juist andersom was. Bedrijf 5 rapporteerde dat er witte schimmel aan de buitenkant van het materiaal zat (Figuur 3.3) en dat het bokashi-materiaal makkelijker uit elkaar viel dan het controle-materiaal. Bij bedrijf 2 werd opgemerkt, dat het materiaal brozer was geworden na inkuilen, het is niet duidelijk of dit voor beide kuilen gold of alleen voor de bokashi-kuil. Verder was er op bedrijf 1 vrij veel zwerfafval in de bokashi van bladafval aanwezig (Figuur 3.3). Dit is ongewenst en het betekent dat er aandacht moet worden besteed aan het verwijderen van zwerfafval, ofwel bij de voorbehandeling van materiaal, ofwel bij de nabehandeling (bijvoorbeeld zeven) van het eindproduct. Zeven van het eindproduct bleek echter lastig te zijn (zie verder).



Figuur 3.3. Open maken van de kuilen op bedrijf 5 (links) en zwerfafval aanwezig in bokashi op bedrijf 1 (rechts).

Tabel 3.1. Overzicht van gebruikte uitgangsmaterialen, voorbehandeling, deeltjesgrootte, hulpmiddelen/additieven van het aanleggen van de kuilen. De hoeveelheden bokashi-hulpmiddelen zijn per kuil.

Bedrijf	Formaat kuil	Uitgangsmateriaal, voorbehandeling en deeltjesgrootte			Gebruikte hulpmiddelen				Hulp bij aanleg	
		Kuil formaat (ton)	Uitgangsmateriaal	Voorbehandeling Deeltjesgrootte	Bijzonderheden	Zeeschelpkalk (kg)	Kleinmineralen (kg)	Microferm (l)	Bokamix (kg)	Met toezicht Agriton
1	400	Blad	Crambo korf 15 x 15 cm	Metaal verwijderd met magneetband	5000	5000	800		-	-
2	50 m ³ ~33 ton	50% gras, 50% blad met Japanse duizendknoop	5 cm		400	400	67		-	X
3	176 m ³ ~116 ton	25% Tomatenloof, 25% tomatenblad, 50% tunnelmengsel	Loof is gezeefd, de rest geshredderd				260	3000	-	-
4	60 m ³ ~40 ton	Bladafval	0-5 cm				40	1000	X	-
5	60 m ³ ~40 ton	Bermmaaisel	Met shredder verkleind tot 5 cm	Materiaal was ~5 weken oud			60	720	X	X
6	45-66 m ³ ~30-44 ton	Bermmaaisel	Normaal gras				80	1000	-	-
7	41,6 ton	Maaisel	Bewerkt met langzaam draaiende shredder	Materiaal had al enige tijd apart gelegen voor verwerking			80	1000	-	-

3.3 Hoe de uitvoering is ervaren

De beoordeling van de hoeveelheid werk/moeite die nodig was om de kuilen aan te leggen loopt erg uiteen tussen de verschillende deelnemers. Een aantal vond het betrekkelijk eenvoudig terwijl het op andere locaties als een intensief proces werd ervaren. Bij de locaties waar het maken van bokashi als minder moeilijk werd ervaren werd opgemerkt dat het makkelijker is dan composteren omdat er in tegenstelling tot bij compost, weinig handelingen nodig zijn na het dichtmaken van de kuil. Op bedrijf 5 werd de aanleg als soepel ervaren doordat gebruik werd gemaakt van een bagging machine die door een kraan gevoerd werd en het materiaal snel kon plaatsnemen. Meerdere deelnemers noemen dat het shredderen en toevoegen van de additieven tijd kost. Twee van de deelnemers merken op dat het eindproduct niet te zeven is, een standaardbewerking die bedrijven die groene reststromen verwerken toepassen na het composteerproces om grove delen (inclusief verontreinigingen) uit het eindproduct te verwijderen.

Eén bedrijf gaf aan dat het gebruik van een harde (betonnen) ondergrond goed is bevallen.

3.4 Kosten voor arbeid, gebruik machines en hulpstoffen

Inzet van machines en personeel

Bij een deel van de bedrijven kostte het meer arbeid om de bokashi-kuil aan te leggen dan de reguliere kuil. Dit werd met name veroorzaakt door de hulpstoffen die conform voorschrift moeten worden gemengd met het uitgangsmateriaal. De inzet van machines was vrijwel gelijk voor de bokashi- en de referentie-kuil. Op basis van een tarief voor machines (75 – 300 €/uur, afhankelijk van de gebruikte machine) en arbeid (50 €/uur) zijn de kosten voor de productie berekend. Deze verschillen sterk tussen de bedrijven, onder andere afhankelijk van de omvang van de kuil, het gebruikte uitgangsmateriaal en de benodigde voorbewerking en de arbeidsuren. Gemiddeld bedroegen de kosten voor arbeid en machines voor de aanleg van een bokashi-kuil en de reguliere kuil ca. 15-20 €/ton.

Verder viel op dat er tussen bedrijven onderling vrij veel verschil zit in de totale tijd die naar schatting nodig was om de kuilen te maken, monitoren en openen; van 3 uur personeelsinzet tot 26 uur. Bij de bedrijven waar naar schatting meer dan 20 uur personeelsinzet gebruikt was, kwam dit voornamelijk doordat er bij deze bedrijven veel tijd in monitoring (temperatuurmeting, etc.) werd gestoken in vergelijking met de andere bedrijven.

Kosten voor hulpstoffen

Naast kosten voor geleverde arbeid en gebruik van machines, worden er bij het maken van bokashi nog kosten gemaakt voor de hulpstoffen die moeten worden toegevoegd. In Tabel 3.2 staan de kosten voor de hulpstoffen berekend per ton bokashi. Deze zijn gebaseerd op facturen van Agriton voor de voor de pilot geleverde hulpstoffen. De hulpstoffen zijn Microferm (een bacteriemengsel van effectieve micro-organismen), zeeschelpen en kleimineralen. De laatste dienen te worden toegediend in een verhouding 1:1, maar in plaats daarvan kan ook BokaMix worden gebruikt, een voorgemengd product bestaand uit zeeschelpen en kleimineralen. De kosten van de hulpstoffen per ton product verschillen enigszins tussen de bedrijven, maar bedragen in het algemeen tussen 10 en 15 €/ton.

Tabel 3.2. Kosten voor Bokashi hulpstoffen of toevoegmiddelen, omgerekend naar €/ton . Benodigde hulpstoffen zijn zeeschelpen, kleimineralen en Microferm. Zeeschelpen en kleimineralen kunnen ook worden vervangen door BokaMix, een mix van de twee. Prijzen zijn gebaseerd op prijsopgaven van Agriton. Bedragen zijn exclusief BTW.

Bedrijf	Omvang bokashi-kuil, ton	Zeeschelpen		Kleimineralen		Microferm		Bokamix		Totaalkosten hulpstoffen (€)	Kosten per ton (€)
		hvh, ton	kosten (€)	hvh ton	kosten (€)	hvh, liter	kosten (€)	hvh, ton	kosten (€)		
1	400	5	1085	5	1677	800	1536			4298	10,74
2	33	0,4	106	0,4	106	67	128			402	12,18
3	116					260	520	3	1020	1540	13,28
4	40					40	91	1	340	431	10,77
5	40					60	81	0,72	245	326	8,145
6	37					80	181	1	340	521	14,09
7	41,6					80	181	1	340	521	12,53
Gem.											11,68

Totale kosten bokashi vs. regulier inkuilen

De controle kuilen zijn zonder hulpstoffen/toevoegmiddelen aangelegd. Voor de referentiekuil zijn dus alleen kosten gemaakt voor de ingezette arbeid en machines. Door de benodigde hulpstoffen voor bokashi is het duidelijk dat regulier inkuilen aanzienlijk goedkoper is dan het maken van bokashi (ca. 15-20 euro per ton voor regulier inkuilen vs. 25-35 euro per ton voor bokashi). Dit is exclusief kosten voor de analyse op samenstelling van de producten.

4 Meetresultaten

4.1 Chemische en biologische eigenschappen eindproduct

Om de waarde van bokashi als bodemverbeteraar te karakteriseren en om het verschil met regulier ingekuild materiaal vast te stellen, zijn van de meeste kuilen bij aanvang en aan het eind (bij openen kuil) chemische analyses aan het materiaal (N-, P- en K-totaal, pH en organische stofgehalten) uitgevoerd. Daarnaast is de biologische respiratiemeting (Oxityp) uitgevoerd en is in veel gevallen een onkruidkiemtoets gedaan. In Tabel 4.1 staan de uitslagen van de chemische en biologische analyses en onkruidtoetsen van de verschillende kuilen. In Figuur 4.1 zijn boxplots getoond die de beschikbare resultaten grafisch samenvatten. Wanneer bij een bedrijf van slechts een kuil monsters zijn genomen voor het inkuilen, is aangenomen dat de andere kuil dezelfde eigenschappen had.

Er was geen sprake van grote verschillen in de samenstelling tussen de bokashi- en de controle-kuilen (Figuur 4.1). Soms liggen de gemiddelde waarden op een iets ander niveau, maar de spreiding daaromheen was groot.

Tussen bedrijven verschilde de samenstelling van de kuilen na het inkuilproces soms sterk (Tabel 4.1):

- Organische stofgehalten waren relatief hoog op bedrijf 5 en 6, waar bermmaaisel is ingekuild;
- N- en P-gehalten waren relatief hoog op bedrijf 3, 5 en 6. Op bedrijf 3 zijn groene reststromen uit de glastuinbouw (onder andere tomatenloof, etc.) ingekuild;
- K-gehalten waren relatief hoog op bedrijf 3;
- Hoge waarden van de respiratiemeting werden met name vastgesteld op bedrijf 6 en in mindere mate op bedrijf 3. Dit geeft aan dat het materiaal relatief makkelijk afbreekbaar is.

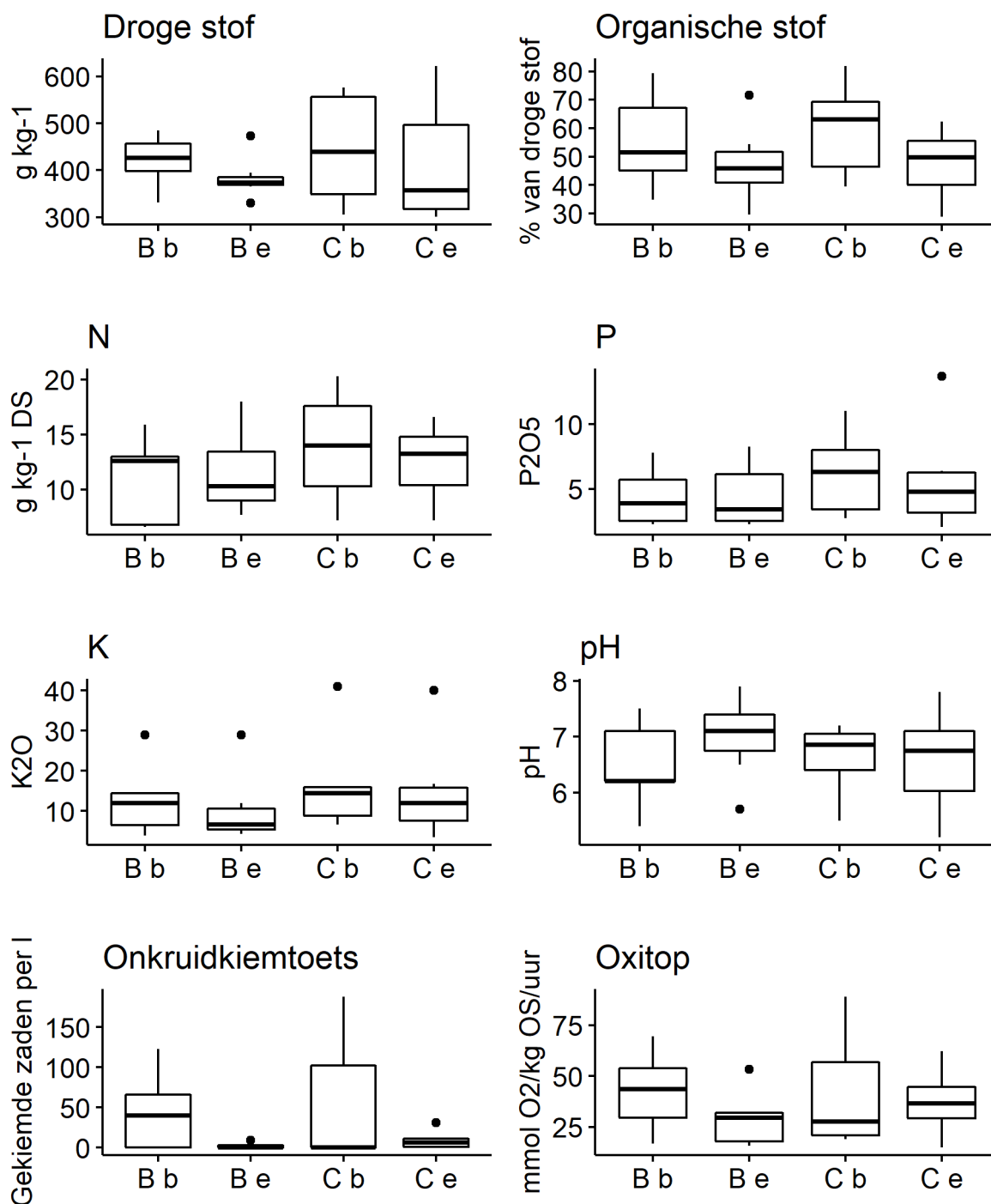
Het inkuilproces heeft tot de volgende veranderingen in de samenstelling geleid (Tabel 4.1):

- Op vrijwel alle bedrijven nam het drogestofgehalte af gedurende het inkuilproces, maar op bedrijf 7 nam het toe. Uit de temperatuurmeting lijkt op dit bedrijf sprake te zijn geweest van een hoge biologische activiteit. Dit kan de toename van het drogestofgehalte verklaren.
- Het organische stofgehalte nam op de meeste bedrijven af, met uitzondering van bedrijf 2 en 4. De afname kan worden begrepen uit de biologische activiteit.
- Het N-gehalte nam in een aantal gevallen af en in een aantal gevallen toe. Hetzelfde geldt voor het P- en K-gehalte, waarbij de gehalten relatief stabiel waren. Overall nam het gemiddelde nutriëntengehalte iets af. De afname van het N-gehalte kan worden verklaard door verliezen ten gevolge van gasvormige emissies. Een toename van het nutriëntengehalte kan worden begrepen uit het verlies van organisch materiaal, terwijl de nutriënten achterblijven.
- De pH nam over het algemeen iets toe, wat bijzonder is. Normaalgesproken leidt het inkuilproces tot een lage pH door de activiteit van melkzuurbacteriën (zie verder).
- Het aantal kiemkrachtige onkruiden is sterk afgenomen en was in de eindproducten vrijwel steeds afwezig of laag; alleen bij bedrijf 3 waren in de referentie-kuil nog vrij veel onkruiden aanwezig.

- De respiratie was in de meeste gevallen in het eindproduct wat lager dan in het uitgangsmateriaal, wat aangeeft dat het enigszins is gestabiliseerd. In een geval was de respiratie gelijk gebleven en in twee gevallen toegenomen, waarbij het erop lijkt dat het materiaal makkelijker afbreekbaar is geworden. Hier is geen verklaring voor.

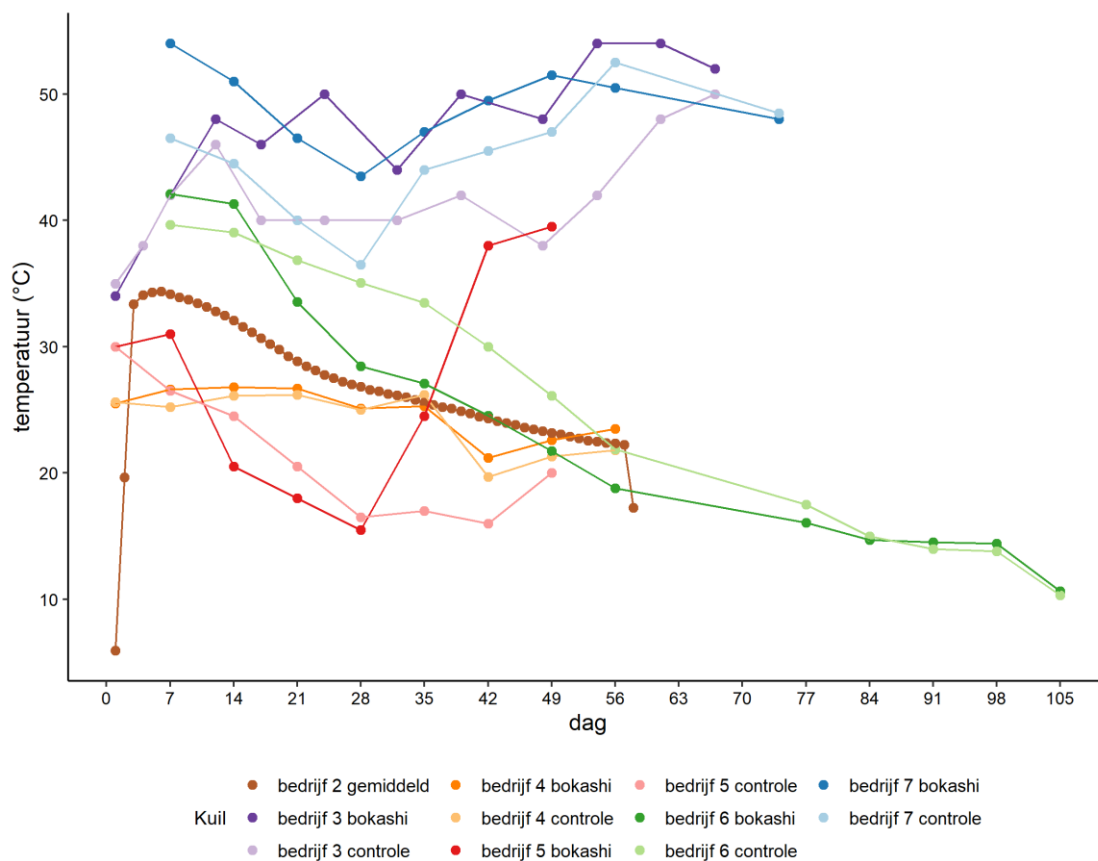
Tabel 4.1. Chemische en biologische analyseresultaten van bokashi en controle kuilen voor aanleg van de kuil en na openen van de kuil. Lege cellen geven ontbrekende waarden aan.

Parameter	Kuil	Tijdstip	Bedrijf						
			1	2	3	4	5	6	7
Droge stof (g kg ⁻¹)	bokashi	begin			332	426	485	457	398
		eind	395	366	372	374	330	376	473
	controle	begin		349	306		556	576	439
		eind		352	306	363	622	301	541
Organische stof (% van droge stof)	bokashi	begin			51,4	34,8	67,1	79,4	45,1
		eind	45,9	48,9	44,8	36,9	54,4	71,7	29,6
	controle	begin		46,4	63,1		69,2	81,9	39,4
		eind		51	48,3	37,3	57,1	62,4	28,8
N (g kg ⁻¹ DS)	bokashi	begin			12,6	6,6	13	15,9	6,8
		eind	7,7	10,3	11,2	7,7	18	15,7	10,3
	controle	begin		10,3	17,6		14	20,3	7,2
		eind		12,4	16,6	7,2	15	14,1	9,7
P (g kg ⁻¹ DS) (P ₂ O ₅)	bokashi	begin			7,79	2,29	5,7	3,89	2,52
		eind	2,29	3,44	8,24	2,29	7,0	5,27	2,75
	controle	begin		3,44	11		6,3	8,02	2,75
		eind		3,66	13,7	2,06	5,9	6,41	2,98
K (g kg ⁻¹ DS) (K ₂ O)	bokashi	begin			29	3,9	14,4	12	6,5
		eind	4,3	9,3	29	4,6	6,12	12	6,6
	controle	begin		8,9	41		14,4	16	6,6
		eind		11	40	3,5	16,8	13	6,4
pH	bokashi	begin			7,5	6,2	5,4	6,2	7,1
		eind	7	7,1	7,5	6,5	7,9	5,7	7,3
	controle	begin		7	7,2		n.b.	5,5	6,7
		eind		7,1	7,8	6,4	5,2	5,9	7,1
Onkruidkiemtoets	bokashi	begin			123	0	0	66	40
		eind	0	3	0	9	0	0	3
	controle	begin		0	102		0	0	188
		eind		12	3	31	0	0	9
Oxitop (mmol O ₂ kg ⁻¹ OS uur ⁻¹)	bokashi	begin			69,6	16,9	54	43,6	29,6
		eind	29,4		32	15,6	18	53,3	
	controle	begin		20,8	56,9		19	89,1	27,7
		eind			34,1	14,9	39	62,2	



Figuur 4.1. Boxplots van chemische eigenschappen van bokashi (B) en controle (C) kuilen aan het begin (b) en einde (e) van het inkuil proces. Er waren zeven bokashi en zeven controle kuilen, omdat niet alle parameters bij iedere kuil gemeten zijn, zijn boxplots van enkele parameters op minder dan zeven metingen gebaseerd.

4.2 Temperatuurverloop tijdens inkuilproces



Figuur 4.2. Temperatuurverandering van kuilen. Temperatuurmetingen van bedrijf 1 was niet beschikbaar. Van bedrijf 2 zijn gemiddelde waarden van beide kuilen weergegeven.

Bij de meeste bedrijven is weinig temperatuurverschil tussen de bokashi en de controle kuil vastgesteld. Op bedrijf 3 en 7 lijken de temperaturen van de controle kuilen lager te zijn geweest dan de bokashi-kuil maar bij de laatste temperatuurmeting waren de temperaturen in de twee kuilen weer bijna even hoog. Op bedrijf 5 vond na vier weken een opvallende temperatuurstijging plaats in de bokashi-kuil die niet voorkwam in de controle kuil.

Verder valt op dat de temperatuur voor beide kuilen op bedrijf 3 en 7 op een relatief hoog niveau lagen (tussen 40 en 50 °C) en niet afnamen gedurende de periode, terwijl de temperaturen op bedrijf 4 en 5 op een lager niveau lagen (tussen 20 en 30 °C) en de temperatuur op bedrijf 6 een flinke daling liet zien van zo'n 40 °C aan het begin tot 10 °C aan het eind.

5 Discussie

5.1 Verloop fermentatie in bokashi- en referentiekuil

Bij het inkuilen van organische producten wordt de kuil normaalgesproken zuurder, waarbij de pH daalt tot waarden van 4,5-5,5¹. Dit komt door melkzuurbacteriën die in afwezigheid van zuurstof suikers omzetten in organische zuren. De afnemende pH en zuurstofarme omstandigheden dragen bij aan het voorkomen van ongewenste rotting en afbraak van organisch materiaal waarbij onder andere boterzuur kan ontstaan (Elsen et al. 2009). Van Duinkerken en Van Schoten (z.d.) geven aan dat bij een drogestofgehalte van 35% de pH niet hoger dient te zijn dan 4,5 voor een goede conservering. Bij zowel de bokashi-kuilen als de referentie-kuilen werd niet een duidelijke afname in pH gemeten en lag die met waarden tussen 5,5 en 7,5 op een relatief hoog niveau. Dit was vooral bij bedrijf 2, 3 en 7 het geval, aangezien de pH daar in alle gevallen rond de 7 schommelde. Bij de bokashi-kuilen kan de hoge pH (deels) verklaard worden door de toevoeging van zeeschelpen die een bufferende / kalkwerking hebben. Een andere mogelijkheid is dat er te veel zuurstof aanwezig was voor een goed inkuilproces en dat het proces meer het karakter had van compostering dan van inkuilen. De relatief hoge temperaturen op bedrijf 3 en 7 wijzen daarop.

Ook door anderen werd bij inkuilen van (natuur)maaisel veelal een beperkte pH-daling gevonden, terwijl de conservering ondanks de hogere pH toch goed kon zijn (onder andere Verbeke, 2020). Als mogelijke oorzaak van de relatief hoge pH werden genoemd dat er in najaarsgras te weinig suikers aanwezig kunnen zijn voor een goede activiteit van melkzuurbacteriën. Ook hoge temperaturen (> 35 °C) zijn belemmerend voor de activiteit van melkzuurbacteriën, wat een verklaring kan vormen voor de beperkte pH-verlaging.

Normaalgesproken verloopt fermentatie bij temperaturen tussen de 20 en 30 °C (Verbeke 2020). De temperaturen gemeten in de kuilen van bedrijf 3 en 7 zijn aan de hoge kant en gaan meer richting composteringstemperatuur ~60 °C. Bij deze twee bedrijven werd de geur van het eindproduct na het openen van de kuilen omschreven als licht zuur, terwijl de andere bedrijven de geur omschreven als bosgrond of ingekuild gras. Dit zou erop kunnen wijzen dat het proces hier anders verlopen is.

5.2 Eigenschappen Bokashi als bodemverbeteraar

Vergelijking bokashi en controle

Op basis van de metingen die verricht zijn tijdens dit onderzoek lijkt de methode voor het maken van bokashi niet te leiden tot een hoogwaardiger bodemverbeteraar dan regulier inkuilen. Dit blijkt uit de

¹ Afhankelijk van het drogestof gehalte ligt de ideale pH tussen de 4,2 en 5,3 (van Duinkerken and van Schooten 2003).

gehalten aan organische stof, nutriënten (N, P en K), de pH, de stabiliteit van de organische stof (uit respiratiemeting) en de onkruidkieming die in beide situaties vergelijkbaar waren (Tabel 41; Figuur 4.1). Het inkuilproces is in beide situaties (inkuilen volgens de bokashi-voorschriften of regulier inkuilen) blijkaar op een vergelijkbare wijze verlopen en het lijkt er dan ook op dat het effect van de toevoegmiddelen klein of afwezig is geweest.

Vergelijking bokashi met compost

Uit een vergelijking van de samenstelling van de bokashi (mediaan met spreiding) (Figuur 4.1) met die van bekende bodemverbeteraars zoals gft- en groencompost blijkt het volgende (Tabel 5.1):

- De mediane waarde voor N van bokashi is vergelijkbaar met groencompost en maaisel, het mediane fosfaatgehalte is eveneens vergelijkbaar en het mediane K gehalte is iets lager dan van groencompost. Als men de spreiding in gemeten gehalten in acht neemt lijken de NPK-gehalten van bokashi niet veel van groencompost te verschillen.
- Het mediane organische stofgehalte van bokashi is hoger dan dat van maaisel maar vergelijkbaar of lager dan van diverse soorten compost, wat grotendeels kan worden verklaard door een lager drogestofgehalte.
- De respiratiesnelheid is hoger (Oxitop) en daarmee is de stabiliteit van organische stof in bokashi lager dan van compost, waardoor het sneller afbreekt en resulteert in een lager EOS-gehalte.
- De verhouding EOS/P₂O₅ van bokashi is vergelijkbaar met gft-compost, maar wat lager dan van groencompost. Dit is van belang wanneer bokashi wordt toegelaten als organische meststof of bodemverbeteraar, aangezien men het wil gebruiken om het organische stofgehalte van de grond op peil te houden of te verhogen. Als bokashi moet worden meegenomen in de mestboekhouding van landbouwbedrijven, zorgt de lage verhouding EOS/P₂O₅ ervoor dat er minder EOS per kg P₂O₅ kan worden aangevoerd dan bij gebruik van groencompost. De verhouding EOS/P₂O₅ van bokashi is wel gunstiger dan die van champost en berm- en slootmaaisel. Echter, maaisel dat via de korte kringloop op landbouwgrond wordt aangebracht wordt in de praktijk niet meegenomen in de mestboekhouding van landbouwbedrijven.
- Bij de meeste bokashi-kuilen ontkiemden na openen geen onkruidzaden meer. Dit is vergelijkbaar met compost.

Tabel 5.1. Mediane waardes van organische bodemverbeteraars. Bokashi en controle verwijzen naar de waardes gemeten in dit onderzoek. Champost, GFT-compost en Groencompost waarden zijn overgenomen uit handboek bodem en bemesting ("Samenstelling Organische Meststoffen," z.d.). Berm en slootmaaisel is gebaseerd op Van Geel et al. (2019). DS = droge stof, OS = organische stof, EOS = effectieve organische stof, de organische stof die overblijft na 1 jaar. Voor het berekenen van EOS van bokashi en de controle is uitgegaan van een humificatiecoëfficiënt van 0,5 (afgeleid uit respiratiemeting).

Organische meststof	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	EOS	N (kg/ton)	P ₂ O ₅ (kg/ton)	K ₂ O (kg/ton)	EOS/P ₂ O ₅
Bokashi	384	182	91	4,4	1,7	3,9	49,1
Controle	414	197	98	5,2	2,4	2,4	41,0
Berm- en slootmaaisel	350	140	35	3,5	1,6		21,9
Champost	336	211	106	7,6	4,5	10,0	23,4
GFT-compost	696	242	218	8,9	4,4	7,9	49,5
Groencompost	599	179	161	5,0	2,2	4,2	73,2

Hanteerbaarheid en verontreinigingen

Een aantal bedrijven gaf aan dat het eindproduct niet goed hanteerbaar was, omdat het te 'kleverig' was. Dit speelde vooral een rol bij producten op basis van maaisel. Bij bladmateriaal speelt het een minder grote rol. Daardoor konden de producten bijvoorbeeld niet goed worden gezeefd, waardoor verontreinigingen niet goed kunnen worden verwijderd. Ook een homogene verspreiding van het product op het land is lastig als de hanteerbaarheid van het product slecht is.

Het is onwenselijk dat er verontreinigingen in bokashi aanwezig zijn. Net als bij het maken van compost is het dus van belang het uitgangsmateriaal en/of eindproduct te controleren op de aanwezigheid van metalen, plastics en ander afval, wat vervolgens verwijderd dient te worden. Bedrijf 1 gaf aan dat er nog afval in het materiaal zat wat met een magneet en met de hand (deels) verwijderd is. Grote stukken afval kunnen worden verwijderd door te zeven. Dit was alleen niet bij alle bedrijven mogelijk, bij bedrijf 7 was het materiaal te vet om te zeven met een 30 mm zeef. Mogelijk is 30mm te klein, bij enkele andere bedrijven werd materiaal gebruikt met een grootte tussen de 0 en 50 mm. Deze nabewerkingsstap is cruciaal voor een verantwoorde toepassing van bokashi op landbouwgrond, om verontreiniging te voorkomen.

Daarnaast kunnen er ook organische verontreinigingen in het uitgangsmateriaal zitten, zoals ziektekiemen en onkruidzaden. Het inkuilen lijkt in zowel bokashi als controle kuilen de kiemkracht van onkruidzaden te hebben doen afnemen. Er is niet onderzocht of microbiologische besmetting afneemt. Ook is er niet onderzocht of de groeikracht van Japanse duizendknoop (*Fallopia japonica*) maaisel is afgenomen. Met goed composteren kan Japanse duizendknoop gedood worden door hogere temperaturen. Het is niet ondenkbaar dat stengels en wortels van deze plant niet gedood worden tijdens het inkuilen waarbij temperaturen doorgaans lager zijn dan bij composteren. Het is belangrijk om na te gaan of de groeikracht van Japanse duizendknoop na inkuilen afneemt omdat het zeer onwenselijk is dat deze plant zich verder kan verspreiden.

5.3 Verschillen in bokashi-samenstelling tussen bedrijven

Rol uitgangsmateriaal op chemische samenstelling

De bokashi die op de zeven bedrijven werd geproduceerd, verschilde van samenstelling. Daarbij zal het gebruikte uitgangsmateriaal een belangrijke rol hebben gespeeld.

De kuilen op bedrijf 3 hadden relatief hoge N-, P- en K-gehalten, zowel voor als na het fermentatieproces. Deze hogere gehalten zijn voor een belangrijk deel toe te schrijven aan het type uitgangsmateriaal (tomatenblad, tomatenloof en tunnelmengsel). Op bedrijf 5 en 6 waren de N- en P-gehalten ook relatief hoog, terwijl daar bermmaaisel is gebruikt. Waarschijnlijk speelt naast het type uitgangsmateriaal ook de herkomst van het materiaal en de voedingstoestand van de bodem ter plekke een belangrijke rol voor de samenstelling van het materiaal dat uiteindelijk wordt geproduceerd. Zo zal de relatief hoge bemesting in de glastuinbouw hebben geleid tot de hoge nutriëntengehalten in het tomatenloof, maar kan bermmaaisel ook variëren in samenstelling afhankelijk van de voedingstoestand van de bodem waarvan het afkomstig is.

Gehalte en stabiliteit organische stof

Organische meststoffen zoals bokashi zijn niet alleen waardevol door de nutriënten die zij leveren maar ook door de organische stof die zij aan de bodem toevoegen. Er worden veel nuttige functies toegeschreven aan bodemorganische stof, zoals bijdrage aan watervasthoudend vermogen, ziektevermindering en CO₂ opslag. Niet alle organische stof die via organische meststoffen wordt toegevoegd blijft ook lange tijd in de bodem. Makkelijk afbreekbare verbindingen worden snel door bodemleven gemineraliseerd. Om na te gaan in welke mate een organische meststof bijdraagt aan de opbouw van bodemorganische stof, wordt in Nederland vaak gerekend met effectieve organische stof (EOS). Dit is de organische stof die na 1 jaar nog in de bodem aanwezig is.

Bij een hogere respiratie (Oxitop meting) breekt er sneller organische stof af waardoor de waarde als bodemverbeteraar afneemt. Zowel het uitgangsmateriaal dat wordt gebruikt voor het maken van Bokashi als het procesverloop heeft invloed op het gehalte en de afbreekbaarheid van de organische stof van het eindproduct.

De hoogste organische stofgehalten waren aanwezig in de producten van bedrijf 5 en 6, waar bermmaaisel is gebruikt als uitgangsmateriaal voor het maken van de bokashi. Blijkbaar zijn er niet veel gronddeeltjes meegekomen met het maaisel.

De laagste respiratiesnelheden van 15-20 mmol O₂/kg/uur werden verkregen met de bokashi op bedrijf 4 en 5. Op bedrijf 1 en 3 had de bokashi een wat hogere afbreekbaarheid (~ 30 mmol O₂/kg/uur) en op bedrijf 6 had de bokashi de hoogste afbreekbaarheid (50-60 mmol O₂/kg/uur). In de bokashi afkomstig van bedrijf 2 en 7 is de stabiliteit niet bepaald. Fermentatie zal normaalgesproken niet leiden tot een product met gestabiliseerde organische stof, terwijl dat op bedrijf 4 en 5 wel min of meer het geval was. Het lijkt er op dat het uitgangsmateriaal op bedrijf 4 (blad) al gestabiliseerd was. Dit is ook bij een aantal andere bedrijven het geval geweest, omdat die aangaven dat het materiaal al een tijd had gelegen, voordat de proef werd opgestart. Op bedrijf 5 is de stabiliteit van de organische stof gedurende het inkuielen toegenomen. Wellicht is in het laatste geval een relatief groot deel van de organische stof omgezet, door een relatief hoge zuurstofbeschikbaarheid.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

1. Het maken van bokashi, waarbij groene reststromen met hulpstoffen wordt ingekuild / gefermenteerd, is niet eenvoudig om de volgende redenen:
 - Het op de juiste wijze aanleggen van een bokashi-kuil, waarbij groene reststromen en hulpstoffen in de juiste verhouding en op de juiste wijze worden gemengd, is bewerkelijk en luistert nauw.
 - Voor een succesvol inkuilproces worden hoge eisen gesteld aan de kwaliteit van de groene reststromen (voldoende suikers, goed vochtgehalte) en het creëren van zuurstofloze omstandigheden. Op basis van temperatuurmetingen en de pH van het eindproduct lijkt het inkuilproces in de uitgevoerde pilots in veel gevallen niet goed te zijn verlopen, ondanks het nauwkeurig opvolgen van instructies van Agriton. Op twee bedrijven lag de temperatuur gedurende de uitvoering blijvend op een relatief hoog niveau (40-50 °C), terwijl melkzuurbacteriën die zorgen voor fermentatie bij temperaturen hoger dan 35 °C niet kunnen overleven. De pH van de eindproducten lag op waarden tussen 5,5 en 7,5, terwijl een goede fermentatie normaalgesproken leidt tot een pH van ca. 4,5.
2. Het toevoegen van hulpstoffen bij het inkuilen maakt de productie van bokashi duur (de kosten hiervoor bedroegen in de pilots gemiddeld 10-15 €/ton), terwijl het niet of nauwelijks lijkt te leiden tot een beter verloop van het fermentatieproces en/of een betere kwaliteit van het eindproduct dan regulier inkuilen. De totale kosten zijn opgebouwd uit zo'n 15-20 €/ton voor de inzet van arbeid en machines, waar voor bokashi dan nog de 10-15 €/ton voor hulpstoffen bij komt.
3. Uit een vergelijking van bokashi met reguliere bodemverbeteraars kan worden geconcludeerd dat:
 - De NPK-gehalten van bokashi niet veel verschilden van die van groencompost.
 - Het organische stofgehalte vergelijkbaar of lager was dan van diverse compostsoorten en de stabiliteit van organische stof en het EOS-gehalte van bokashi lager was dan van composten.
 - De verhouding EOS/P₂O₅ van bokashi vergelijkbaar is dan gft-compost, lager dan van groencompost, maar hoger dan die van champost en berm- en slootmaaisel.
 - Bij de meeste bokashi-kuilen evenals bij compost na openen geen onkruidzaden ontkiemden. Het is onduidelijk of Japanse duizendknoop ook onschadelijk wordt gemaakt.
 - De verwerkbaarheid van bokashi van vooral maaisel slecht is, waardoor het moeilijk kan worden gezeefd en zwerfafval niet/nauwelijks kan worden verwijderd. De slechte verwerkbaarheid bemoeilijkt ook een uniforme toediening op het land.

6.2 Aanbevelingen

1. Aangezien er nog veel onduidelijkheden zijn over het onderscheidend vermogen van bokashi ten opzichte van onbewerkt of normaal ingekuild organisch materiaal, is aanvullend onderzoek nodig. Ook zou daarbij duidelijker moeten worden wat het belang van hulpstoffen is.

2. Voorgesteld wordt betere voorschriften voor het maken van bokashi (kwaliteit uitgangsmateriaal, vochtgehalte, creëren zuurstofloze omstandigheden, etc.) op te stellen, waardoor de kans op een succesvol verloop van het inkuilproces wordt vergroot.
3. Als het in de toekomst toegestaan wordt om bokashi te gebruiken als bodemverbeteraar is het gewenst dat boeren dit meenemen in de mestboekhouding van hun bedrijf, aangezien het aanzienlijke gehalten aan N en P bevat.
4. Daarnaast zijn de volgende verbeteringen van het eindproduct gewenst:
 - Voor een verantwoorde toepassing van bokashi op landbouwgrond is het van wezenlijk belang dat zwerfvuil uit het product wordt verwijderd. Ook verspreiding van andere verontreinigingen en onkruiden (inclusief invasieve exoten, zoals Japanse duizendknoop) moet worden voorkomen. Zwerfvuil was in enkele gevallen in de bokashi in de pilots aanwezig, terwijl het onvoldoende duidelijk is of Japanse duizendknoop bij de huidige productie wordt afgedood.
 - Een betere verwerkbaarheid van bokashi van maaisel is nodig, zowel voor het zeven (en daardoor schonen) van het eindproduct, als voor de mogelijkheden voor een uniforme toediening van het product op het land.
 - Een gecontroleerde productie van bokashi, waarbij het productieproces en een hoge kwaliteit van het eindproduct wordt geborgd, is van belang voor eindgebruikers. Dit kan bijvoorbeeld worden gerealiseerd door de productie te laten uitvoeren door erkende verwerkers van groenafval.
5. Onderzoek naar effect van het gebruik van bokashi in vergelijking met andere bodemverbeteraars op de bodemkwaliteit, inclusief risico's voor het verhogen van de onkruiddruk en/of de verspreiding van plantenziekten, is gewenst.

Literatuur

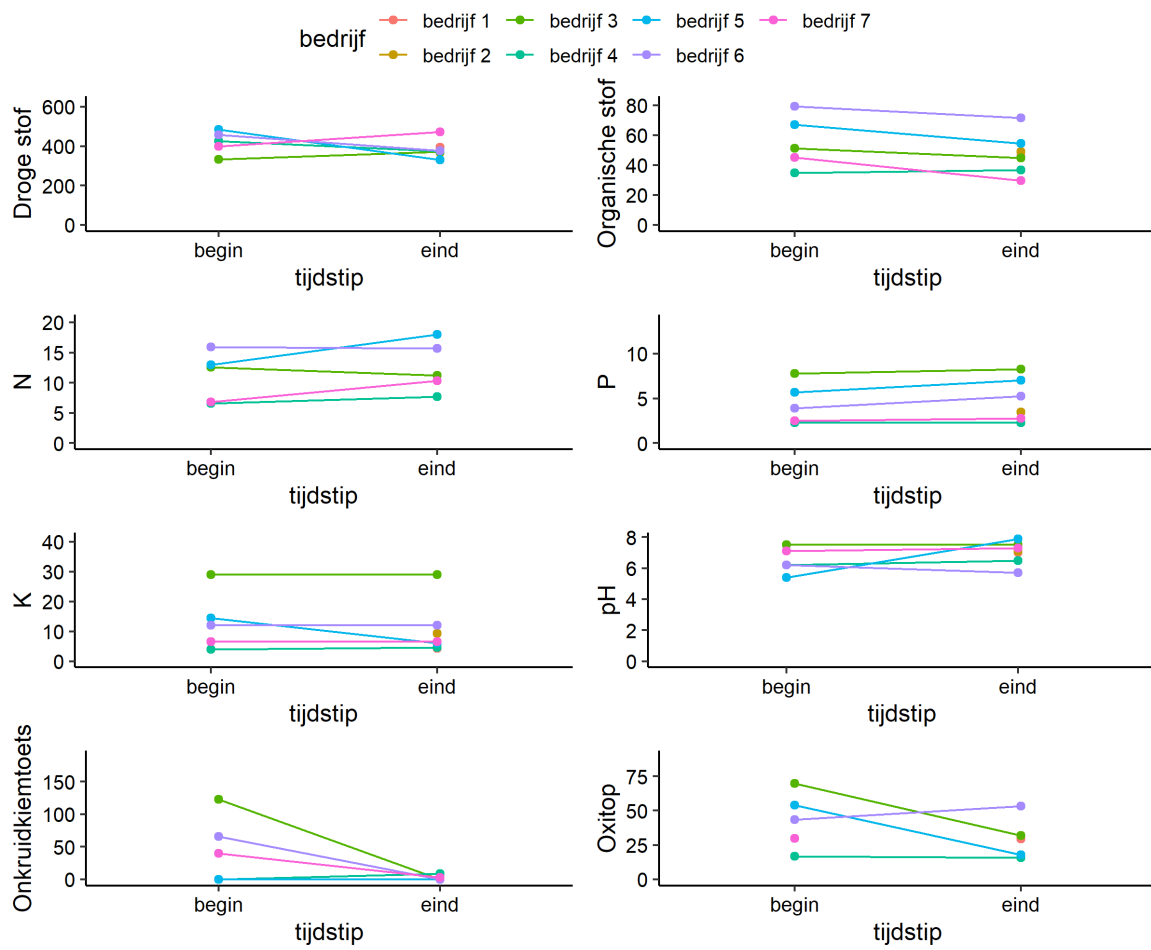
- Bruggen A van, Blok W, Vos O de, Volker D & Diepen G van. 2008. EM: Effectieve microben of effectieve magie? Een onderzoek naar de effectiviteit van Effectieve Micro-organismen (EM). Wetenschapswinkel Wageningen UR, rapportnummer 245.
- Duinkerken G van, & Schooten H van. 2003. Conservering Afhankelijk van pH. *Veeteelt* 20 (5): 32–33. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/152819>.
- Elsen F, Janssens P, Bries J, Moens W & Bomans E. 2009. Geïntegreerde Verwerkingsmogelijkheden (Inclusief Energetische Valorisatie) van Bermmaaisel. D/2009/5024/53. Mechelen.
- Geel W van, Haan J de, Hanegraaf M & Postma R. 2019. Doorontwikkeling Classificatieschema Organische-Stofrijke Meststoffen. Deskstudie in Het Kader van de PPS Beter Bodembeheer / Effecten van Organische Stof. Rapport WPR-project 3750384500. Lelystad. www.wur.nl/plant-research.
- Iepema G, Elferin, E & Jelsma M. 2021. Resultaten onderzoek Bokashi. Hogeschool Van Hall Lahrenstein, Leeuwarden, 85 pp.
- Janmaat, L. 2017. Wat is beter: compost of bokashi? *Ekoland*, 30-31.
- Quiroz M, Céspedes C. 2019. Bokashi as an amendment and source of nitrogen in sustainable agricultural systems: a review. *Journal of Science and Plant Nutrition* 19: 237-248.
- Vanrespaille H, Bonnast J & Elsen A. 2019. Praktijkevaluatie bodemverbeterende middelen: stalmest, bokashi en houtsnippers. Eindrapport, 22/01/2019. 45 pp.
- Verbeke W. 2020. Het inkuilen van natuurmaaisel. Ervaringen en resultaten binnen GrasGoed. Rapport uit het Interreg-project 'GrasGoed-Natuurlijk Groen Als Grondstof'. Mechelen.

Bijlagen

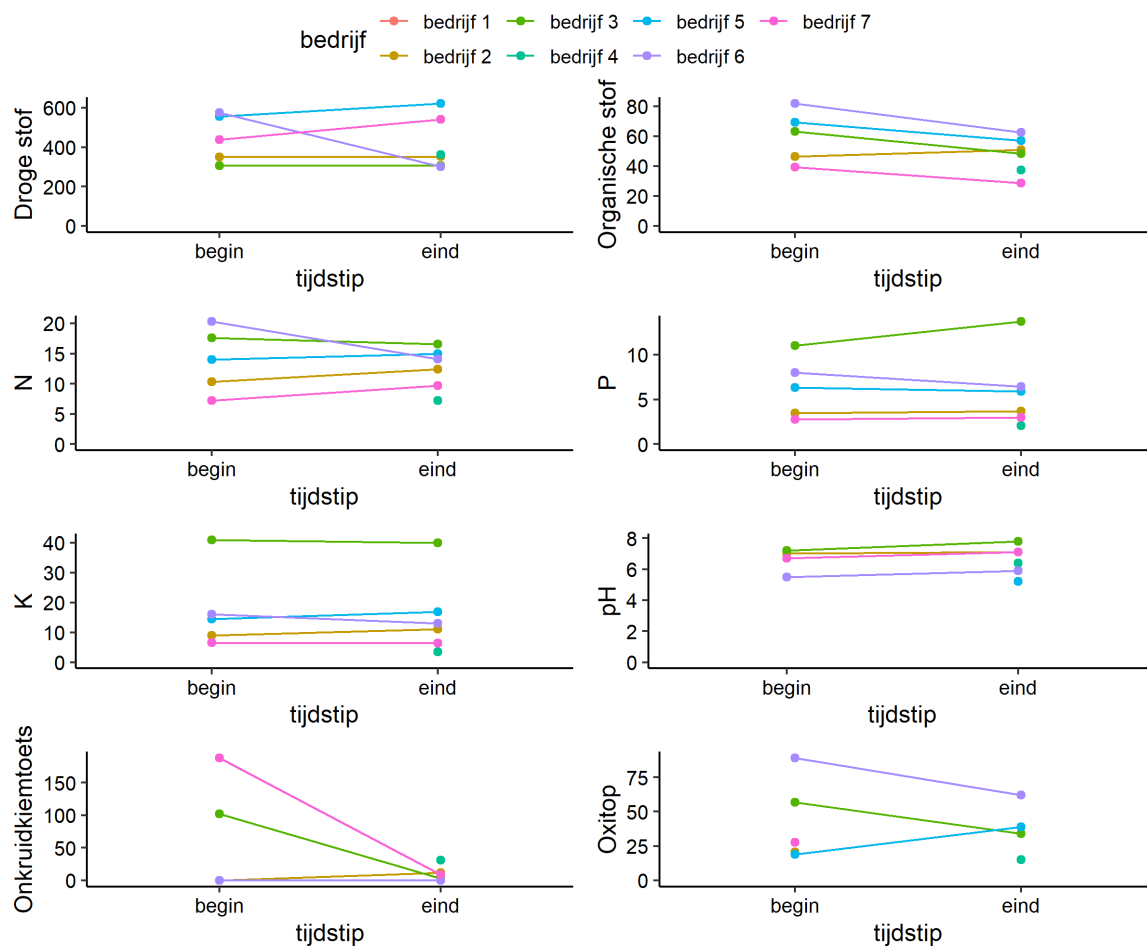
Bijlage 1. Overzicht van de inzet van machines en personeel per bedrijf.

bedrijf	parameter	Opzetten bokashi hoop	Opzetten referentiehoop	Openen bokashi hoop	Openen referentiehoop	Monster-name en analyses	Monitoring	Anders:	Totaal
2	Type machine(s)	Rups-kraan	Rups-kraan	Rups-kraan	Rupskraan	Schep	thermometers in kuil		
	Geschatte duur van inzet machine(s)	2	2	0,5	0,5	0	0		5
	Geschatte duur personeelsinzet	2	2	0,5	0,5	1	0		6
3	Type machine(s)	Kraan, shovel, heftruck	Kraan, shovel	Kraan	Kraan				
	Geschatte duur van inzet machine(s)	2	2	1	1				6
	Geschatte duur personeelsinzet	2	2	1	1		5		11
4	Type machine(s)	Kraan shovel	Kraan shovel	Shovel	Shovel	Hand-matig	Hand-matig		
	Geschatte duur van inzet machine(s)	2,5	2,5	0,5	0,5				6
	Geschatte duur personeelsinzet	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		3
5	Type machine(s)	Bagging-machine	Bagging-machine	Kraan	Kraan	Grondboor, thermometer	Pijl-thermometer		
	Geschatte duur van inzet machine(s)	2	2	1	1	1	8	2	17
	Geschatte duur personeelsinzet	3	3	1	1	8	8	2	26
6	Type machine(s)	Volvo loader	Volvo loader						
	Geschatte duur van inzet machine(s)	3	3						6
	Geschatte duur personeelsinzet	7,5	1,5				13		22
7	Type machine(s)	Kraan, shredder, loader, omzetter	Kraan, shredder, loader	Kraan	Kraan	Handmatig, kraan	Hand-matig, kraan	Loader zeef	
	Geschatte duur van inzet machine(s)	3	2	0,5	0,5	0,5	0,5	4	11
	Geschatte duur personeelsinzet	5,5	3,5	1	1	2	2	4	19

Bijlage 2. Grafische weergave veranderingen in samenstelling door inkuilen



Figuur B.1. Verandering chemische eigenschappen van bokashi-kuilen per bedrijf.



Figuur B.2. Verandering chemische eigenschappen reguliere kuilen per bedrijf.



Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl